

**КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ  
В ПРИЛАДОБУДУВАННІ**

УДК 621.317

**СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВОГО  
ПОЛОЖЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА  
ДЕФЕКТОСКОПУ В ПРОЦЕСІ КОНТРОЛЮ**

*Маєвський С.М., Серий К.М., Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут.”, м.Київ, Україна*

*В роботі пропонується вирішення проблеми усунення суб’єктивності неруйнівного контролю шляхом автоматичної реєстрації положення вимірювального перетворювача дефектоскопу в процесі контролю з реєстрацією місця знаходження автоматично виявлених дефектів.*

**Вступ**

При використанні традиційних ультразвукових, вихрострумовим, магнітних та інших дефектоскопів, розрахованих на ручне сканування вимірювальним перетворювачем поверхні об’єкту контролю, виникає необхідність у документуванні результатів контролю. Автоматична реєстрація координат просторового положення перетворювача в процесі контролю і, таким чином – координат розташування дефектів та іншої інформації про дефекти усуває вплив на результат контролю суб’єктивності контролю не дивлячись на, що сканування, як і інші операції, виконуються дефектоскопістом. Такий спосіб контролю дозволяє використовувати отримані результати у моніторингу об’єктів контролю щодо виявлених дефектів [ 1 ].

Ступінь складності автоматичного визначення координат просторового положення вимірювального перетворювача найбільш висока для вихрострумового контролю на високих частотах, коли вісь перетворювача може займати довільне в певних межах кутове положення до поверхні об’єкту контролю. Тому цій проблемі в роботі присвячена особлива увага.

Принципи побудови систем автоматичної реєстрації координат положення вимірювального перетворювача в процесі контролю

Авторами розроблені два основні принципи побудови систем дистанційного вимірювання координат просторового положення вимірювального перетворювача дефектоскопів [ 2 ] в тому числі перетворювача вихрострумового високочастотного (5 МГц) дефектоскопу при контролі об’єктів зі складною просторово розвиненою поверхнею. Особливістю вихрострумового високочастотного перетворювача є малі (декілька кубічних міліметрів) розміри власне перетворювача – котушки зі змінним високочастотним струмом, яка встановлена на кінці видовженого корпусу подібного до

олівця з довжиною  $L$  (рис.1). За першим принципом побудови згаданої вище системи визначення координат виконується шляхом вимірювання часу затримки ультразвукових коливань, що імпульсно та почергово збуджуються з допомогою п'єзо чи електромагнітними з допомогою генераторними перетворювачами з кулеподібною діаграмою направленості. Згідно рис.1 мова йде про часову затримку ультразвукових радіоімпульсів з фіксованою частотою несучих коливань на шляху їх розповсюдження до трьох широко-направлених перетворювачів-приймачів, встановлених на кінцях певної базової відстані  $B$ .

Визначення координат просторового положення двох акустичних випромінювачів  $A, B$  на відстані  $L_1$  один від одного відносно приймачів цих коливань в точках  $O_1, O_2$  та  $O_3$  дає можливість розрахувати відстані  $AO_1, AO_2, AO_3$  при умові відомої швидкості розповсюдження коливань в повітрі ( $V = 342 \text{ м/с}$ ) визначити просторове положення вісі корпусу вихрострумowego перетворювача, а за відомою довжиною  $L$  визначити координати власне вихрострумowego перетворювача, як точки на прямій.

При цьому координатам просторового положення точок  $A$  і  $B$  відповідають рівняння :

$$\begin{aligned} Y_a &= \frac{(AO_1)^2 - (AO_2)^2 + B_1^2}{2B_1} & Y_b &= \frac{(BO_1)^2 - (BO_2)^2 + B_1^2}{2B_1} \\ Z_a &= \frac{(AO_1)^2 - (AO_3)^2 + B_2^2 + 2B_2h}{2B_2} & Z_b &= \frac{(BO_1)^2 - (BO_3)^2 + B_2^2 + 2B_2h}{2B_2} \\ X_a &= \sqrt{(AO_1)^2 - (Z_a - h)^2 - Y_a^2} & X_b &= \sqrt{(BO_1)^2 - (Z_b - h)^2 - Y_b^2} \end{aligned} \quad (1)$$

Використовуючи рівняння прямої, якій належать точки  $A, B$  і  $C$  :

$$\frac{x - X_a}{X_a - X_b} = \frac{y - Y_a}{Y_a - Y_b} = \frac{z - Z_a}{Z_a - Z_b} \quad (2)$$

знаходимо координати перетворювача ( точка  $C$  ):

$$X_c = \frac{X_b L_1 - X_a L}{L_1 - L} \quad Y_c = \frac{Y_b L_1 - Y_a L}{L_1 - L} \quad Z_c = \frac{Z_b L_1 - Z_a L}{L_1 - L} \quad (3)$$

Вимірювання відстаней від збудників ультразвукових коливань до приймачів цих коливань відбувається періодично і по-черзі. Якщо період переключення випромінювачів ультразвуку не перевищує 100 мс. , а максимальна відстань між приймачами і збудниками не перевищує 600 мм., то динамічна похибка визначення координат при швидкості руху перетворювача 10 мм/с не перевищує 1 мм. Довільність кутового положення вісі перетворювача висуває на передній план вимоги щодо інтенсивності збуджуваних коливань, діаграм направленості збудників та приймачів цих коливань. Добре себе показали збудники коливань з частотою 40 кГц на основі прямокутних за формою п'єзокерамічних перетворювачів з кутовою (до поверхні) поляризацією.

До недоліку акустичного методу визначення координат перетворювача в процесі сканування ним поверхні об'єкту контролю слід назвати присутність похибки за рахунок руху повітря в зоні контролю. Це особливо проявляється

при реалізації контролю на відкритому повітрі. Можливий захист зони контролю від вітру з допомогою накриття з тканин або інших матеріалів, що не призводять до акустичної реверберації.

Цього недоліку немає при використанні іншої розробленої нами системи визначення координат, яка використовує оптичні випромінювання. При цьому також визначаються просторові координати двох точок на відстані  $L_0$ , що лежать на одній прямій з вимірювальним (вихрострумовим) перетворювачем. В цих точках розташовуються точкові випромінювачі світла з коловою діаграмою направленості. Світло цих випромінювачів, що періодично включаються, сприймається оптичними приймачами при кутовому обертанні їх діаграми направленості.

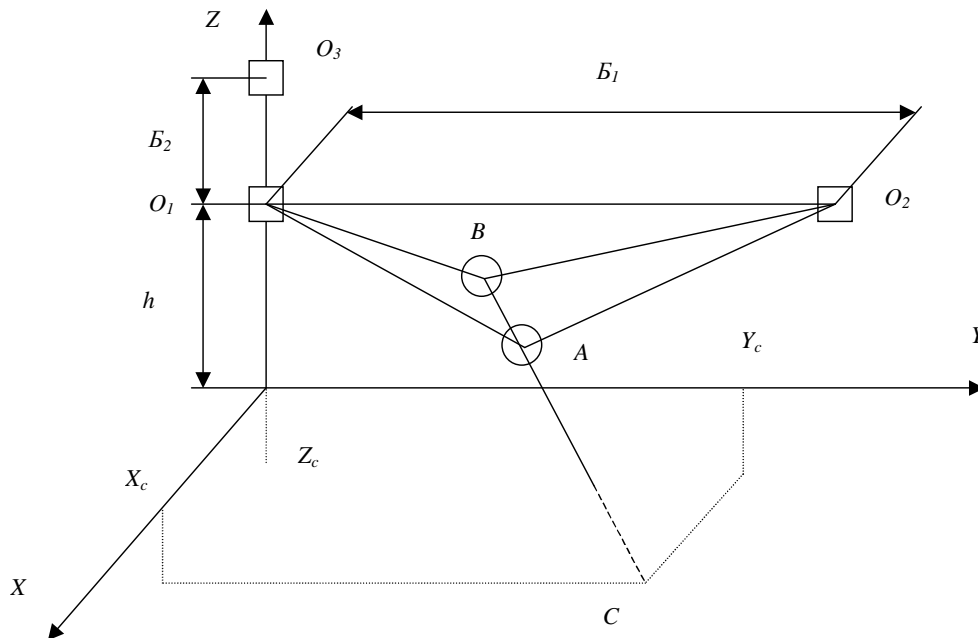


Рисунок 1 -. Схема можливого розміщення перетворювача  $C$  та ультразвукових випромінювачів  $A, B$  на його корпусі відносно приймачів коливань в точках  $O_1, O_2, O_3$ .

Власне вихрострумовий перетворювач може мати невеликі розміри (одниці міліметрів в діаметрі) і встановлюється, як і в попередньому випадку, на одному кінці корпусу, на іншому кінці корпусу перетворювача встановлюються два точкові джерела випромінювання з широкою діаграмою направленості (рис.1) на відстані  $L_0$  один від одного. При цьому відстань від власне вихрострумового перетворювача і більш віддаленого джерела світла становить  $L_k$ .

Для визначення просторових координат положення джерел світла на корпусі перетворювача, а потім і координат власне вихрострумового перетворювача, як точки на одній прямій з центрами джерел світла, використовується сис-

тема визначення кутових координат просторового положення цих джерел відносно площини  $OXZ$  та  $OXY$ . При цьому визначаються два кутові положення відносно площини  $OXZ$  в координаті  $Y=0$  та  $Y=B$ , де  $B$  (база вимірювання) – вибрана з умови  $B \approx X_{\max}$  (тут  $X_{\max}$  – максимальна відстань вимірювального перетворювача від бази вимірювань  $B$ ). Наприклад:  $X_{\max} = 600$  мм;  $B = 600$  мм.

На краях бази  $B$  встановлені двоє дзеркалець 1 і 2, що обертаються зустрічно з фіксованою кутовою швидкістю та відбивають світло опорного джерела світла – фото діоду 3,4 через систему дзеркал та джерел світла 5 і 6 на корпусі перетворювача дефектоскопу так, щоб воно фокусувалося на фотоперетворювачах 7 і 8 через довго-фокусні об'єктиви 9 і 10. В центрі бази  $B$  встановлене дзеркальце 11, що також обертається синхронно з дзеркальцями 1 і 2, але його вісь обертання розташована горизонтально. Світло точкових джерел 5 та 6, що відбивається цим дзеркальцем, також фокусується на фотоперетворювачі 12 з допомогою аналогічного довго-фокусного об'єктива 13.

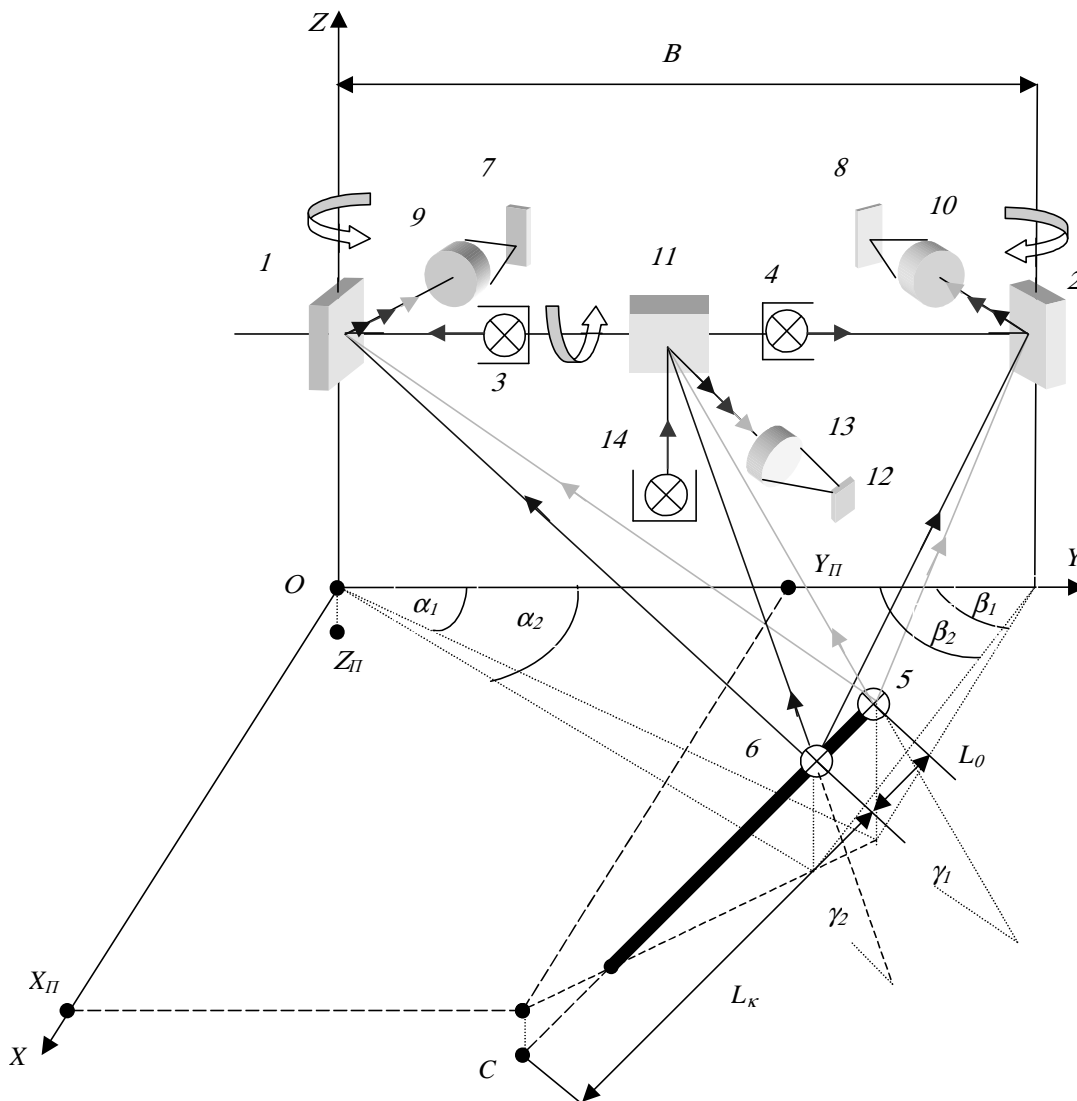
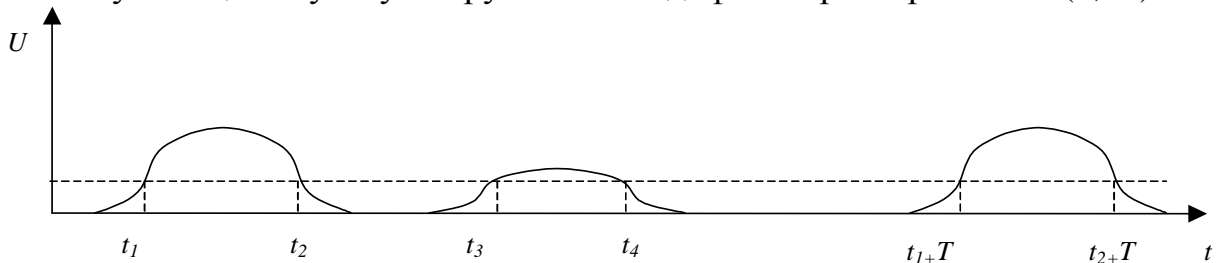


Рисунок 2 .- Схема розміщення перетворювача  $C$  з оптичними випромінювачами  $A$  і  $B$  відносно оптичної системи визначення його координат .

Двохсторонні дзеркальця 1, 2 і 11 обертаються синхронно з допомогою кінематичного пристрою з кутовою швидкістю 20 обертів за секунду, при цьому сторона дзеркалець оглядає простір глибиною 600 мм робочого кута  $90^\circ$  за 0,0125 с. При цьому переключення джерел світла на корпусі перетворювача дефектоскопу виконується з частотою 20 Гц згідно діаграмі роботи системи на рис. 3.

Синхронізація системи вимірювання кутового положення кожного з джерел світла на корпусі перетворювача відносно площини  $OXZ$  – кута  $\alpha$ , відносно площини  $OYZ$  ( $Y=B$ ) – кута  $\beta$  та відносно площини  $OYZ$  – кута  $\gamma$  виконується кожним вимірювальним каналом прийняттям імпульсу світла від внутрішнього джерела 3 та визначенням його часової координати. Ця часова координата є серединою інтервалу часового інтервалу  $\tau_1 = t_2 - t_1$ , де  $t_1, t_2$  – моменти початку і кінця імпульсу напруги на виході фотоперетворювача 7 (8,12)



$t_1, t_2$  – початок та кінець імпульсу синхронізації на виході компаратору фотоприймача;  $t_3, t_4$  – аналогічні початок і кінець фото-імпульсу, що відповідає прийому світла від випромінювача на корпусі перетворювача.

Риунок 3 - Діаграма сигналів на виході вимірювального тракту кожного з фотоперетворювачів

при сприйманні світла від додаткового синхронізуючого джерела світла 3. Початок і кінець імпульсу напруги фіксується моментами прямого та зворотного спрацювання компаратора напруги фотоперетворювача в моменти, коли ця напруга перевищує рівні його спрацювання. Компаратором у цьому випадку може бути тригер Шмідта з мінімальним гістерезисом.

Часова затримка імпульсів синхронізації та імпульсів напруги, що є результатом прийому світла від випромінювача на корпусі перетворювача дефектоскопу (рис.3), може бути визначена такою сумою:

$$\tau_{01} = \frac{t_1 + t_2}{2} + \frac{t_3 + t_4}{2} = \frac{(t_1 + t_4) + (t_2 + t_3)}{2} = \frac{\tau_{1,4} + \tau_{2,3}}{2} \quad (4)$$

Імпульси  $\tau_{1,4}$  та  $\tau_{2,3}$  формуються тригерами з роздільним запуском в відповідні моменти часу.

Значення кутів  $\alpha, \beta$  та  $\gamma$  визначається таким рівнянням:

$$\alpha(\beta, \gamma) = \frac{\tau_{01}}{T} 360^\circ, \quad (5)$$

де  $T$  – часова довжина обертуту дзеркала 1, 2, 11 на  $180^\circ$  :

$$T = \frac{t_1 + t_2}{2} + \frac{t_1' + t_2'}{2} = \frac{\tau_{11} + \tau_{22}}{2} \quad (6)$$

Цикл вимірювання кутових координат  $\alpha$ ,  $\beta$  і  $\gamma$  для обох джерел світла на корпусі ПД становить  $2T$  (рис.2,б). При цьому однозначність вимірювань координат вимагає умови:

$$0 < \alpha < \frac{\pi}{2}; \quad 0 < \beta < \frac{\pi}{2}; \quad 0 < \gamma < \frac{\pi}{2}. \quad (7)$$

Для забезпечення умови (4) щодо кута  $\gamma$  положення лінії розташування дзеркал-сканерів  $Z_0$  вибране з умови  $Z_0 = H$ , щоб координата  $Z$  положення вимірювального перетворювача була завжди меншою.

Координати просторового в межах кутів (4) положення центрів точкових джерел світла на корпусі вимірювального перетворювача знаходимо, як:

$$X_1 = \frac{B \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \beta_1}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \beta_1}; \quad X_2 = \frac{B \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} \beta_2}{\operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \beta_2}; \quad (8)$$

$$Y_1 = \frac{B \operatorname{tg} \beta_1}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \beta_1}; \quad Y_2 = \frac{B \operatorname{tg} \beta_2}{\operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \beta_2}; \quad (9)$$

$$Z_1 = H - \frac{B \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \beta_1}{\operatorname{tg} \gamma_1 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \beta_1)}; \quad Z_2 = H - \frac{B \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} \beta_2}{\operatorname{tg} \gamma_2 (\operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \beta_2)}. \quad (10)$$

Виходячи з параметрів довжини корпусу перетворювача ( $L_k$ ) та взаємного розміщення джерел світла на ньому ( $L_0$ ) знаходимо координати власне перетворювача, як точки на прямій з відомими координатами двох точок цієї прямої:

$$X_{\Pi} = \frac{X_2 L_0 - X_1 L_K}{L_0 - L_K}; \quad Y_{\Pi} = \frac{Y_2 L_0 - Y_1 L_K}{L_0 - L_K}; \quad Z_{\Pi} = \frac{Z_2 L_0 - Z_1 L_K}{L_0 - L_K}. \quad (11)$$

Коди цих координат, а також коди рівня амплітуди на виході дефектоскопу запам'ятовуються в розширеному блоці пам'яті мікропроцесора, чи в персональному комп'ютері зв'язаному з блоком визначення координат та аналогово-цифровим перетворювачем вихідної напруги дефектоскопу. Крім того можемо зберігати результати контролю на твердому носіїві – паперовому форматі, що фактично підтверджує факт неруйнівного контролю та відображає координати виявлених дефектів.

## Висновки

Описані в роботі системи дозволяють шляхом мінімальних доробок перевести традиційний дефектоскоп в розряд системи з автоматичною реєстрацією траєкторії сканування перетворювачем дефектоскопу поверхні об'єкту контролю з реєстрацією параметрів дефектів і місць їх розташування. Такий шлях автоматизації дефектоскопів простий і універсальний. Використання дефектоскопів із запропонованою системою реєстрації положення перетворювача в процесі контролю здатне не тільки усунути суб'єктивність контролю, але і виконувати моніторинг виявлених дефектів, що є об'єктом подальших досліджень у цьому напрямку.

### Література

1. Nondesructive Testing Handbook. By edition Albert S. Birks and Robert E.Green. ASNDT, second edition, v.7, 1991,-857 p..
2. Маєвський С.М., Серий К.М. Автоматизація визначення координат для документування результатів неруйнівного контролю при ручному скануванні // Методи та прилади контролю якості.-2002.-№9.-С.18-20.
3. Молебный В.В. Оптико-локационные системы –М.: Машиностроение,1981.-181 с., ил.

<p>С.М.Маевский , К.Н.Серый. Системы дистанционного определения пространственного положения измерительного преобразователя дефектоскопа в процессе контроля</p> <p><i>В работе предлагается решение проблемы устранения субъективности неразрушающего контроля путем автоматической регистрации положения измерительного преобразователя дефектоскопа в процессе контроля с регистрацией места нахождения автоматически выявленных дефектов.</i></p>	<p><i>S.M.Mayyevskyy, K.M.Syeryy. Systems for remote attitude determination of flaw detector measuring converter during the testing</i></p> <p><i>The article gives the solution of the problem of subjectivity of non-destructive testing elimination by automatic registration of flaw detector measuring converter position during testing with automatic registration of defects position.</i></p>
--	--

Надійшла до редакції  
16 травня 2003 року

УДК 621.833+621.391

## ПОТЕНЦІЙНА ТОЧНІСТЬ ОЦІНЮВАННЯ ВТОМНИХ ТРІЩИН ЗА МЕТОДОМ ВИЩІХ ГАРМОНІК

Тяпченко О.М., Національний технічний університет України "КПІ", м.Київ, Україна

*Досліджується потенційна точність оцінювання втомних тріщин в процесі віброакустичної діагностики конструкцій за методом вільних коливань. Проведено порівняльний аналіз якості отриманих оцінок в залежності від шуму вимірювання та параметра, що оцінюється*

### Вступ

Сучасний прогрес розвитку промисловості пов'язаний з побудовою та експлуатацією надійних та високоефективних машин та механізмів. Подальше зростання їх ресурсу та підвищення надійності викликає потребу вдосконалення існуючих і розробки нових методів та засобів діагностики. І хоча сучасний рівень їх є досить високим, актуальною лишається проблема діагностики дефектів в елементах конструкцій машин і механізмів на етапі їх зародження та початковій стадії розвитку. Відомо, що руйнуванню всієї конструкції передують поява і розвиток втомного пошкодження елемента конструкції. Виявлення та моніторинг такого пошкодження на ранній стадії розвитку набуває особливого значення і зумовлює необхідність пошуку таких діагностичних ознак, які були б чутливими до незнач-